

S/N: 10/021,014



6/2002

DOCKET NO.: KAW-268-USAP

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of: Zongtao GE

Serial No.: 10/021,014

Art Unit: TO BE ASSIGNED

Filed: December 19, 2001

Examiner: TO BE ASSIGNED

For: Method of Detecting Posture of Object and Apparatus Using the Same

PRIORITY DOCUMENT TRANSMITTAL


Assistant Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 CFR 1.55 and the requirements of 35 U.S.C. 119, attached hereto are certified copies of the priority documents, Japanese Patent Application No. 2000-397246, filed on December 27, 2000 and Japanese Patent Application No. 2001-354545, filed on November 20, 2001.

It is respectfully requested that applicant be granted the benefit of the filing date of the foreign application and that receipt of this priority document be acknowledged in due course.

Respectfully submitted,


Ronald R. Snider
Reg. No. 24,962

Date: March 6, 2002

Snider & Associates
Ronald R. Snider
P.O. Box 27613
Washington, D.C. 20038-7613
(202) 347-2600

RRS/jt

RECEIVED
MAR - 7 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年11月20日

出願番号

Application Number:

特願2001-354545

[ST.10/C]:

[JP2001-354545]

出願人

Applicant(s):

富士写真光機株式会社

RECEIVED
MAR - 7 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

2002年 2月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2002-3008744

【書類名】 特許願

【整理番号】 FK0837DP

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 9/02
G01B 11/24

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県さいたま市植竹町1丁目324番地 富士写真光機株式会社内

【氏名】 ▲葛▼ 宗濤

【特許出願人】

【識別番号】 000005430

【氏名又は名称】 富士写真光機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097984

【弁理士】

【氏名又は名称】 川野 宏

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-397246

【出願日】 平成12年12月27日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041597

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9709216

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 被観察体の姿勢検出方法およびこれを用いた装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被観察体の基準に対する相対的傾きを検出する被観察体の姿勢検出方法において、

前記被観察体の位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施して、該縞画像データ中の、前記被観察体の傾きに対応した縞のティルト周波数を求め、

このティルト周波数に基づいて前記被観察体の傾きを検出することを特徴とする被観察体の姿勢検出方法。

【請求項 2】 前記ティルト周波数を求める際には、前記フーリエ変換により得られた周波数座標系上のピークのうちの所定のピーク的位置座標を求め、この位置座標に基づいてティルト周波数を算出する演算を行うことを特徴とする請求項 1 記載の被観察体の姿勢検出方法。

【請求項 3】 被観察体からの位相情報を検出するとともに、該被観察体の基準に対する相対的傾きを検出する被観察体の姿勢検出装置において、

前記被観察体からの位相情報を担持した縞画像データを取得する縞画像データ取得手段と、

該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施すフーリエ変換演算手段と、

該フーリエ変換がなされた縞画像データ中の、前記被観察体の傾きに対応した縞のティルト周波数を求めるティルト周波数演算手段と、

このティルト周波数に基づいて前記被観察体の傾きを検出する被観察体傾き検出手段とを備えたことを特徴とする被観察体の姿勢検出装置。

【請求項 4】 被観察体の基準に対する相対的傾きを検出する被観察体の姿勢検出方法において、

前記被観察体からの位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、前記縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を

施して、前記被観察体の傾きを含んだ位相情報を求め、

得られた該被観察体の位相情報に所定の演算処理を施すことにより前記被観察体の傾きを検出することを特徴とする被観察体の姿勢検出方法。

【請求項 5】 前記被観察体の位相情報を求める際には、前記フーリエ変換により得られた周波数座標系上のスペクトル分布のうちの、前記被観察体の傾きに対応した縞の所定のスペクトル分布を求め、この所定のスペクトル分布に基づいて位相情報を算出する演算を行うことを特徴とする請求項 4 記載の被観察体の姿勢検出方法。

【請求項 6】 前記所定の演算処理が、前記被観察体の位相情報にフィッティングする最小二乗平面を求める演算処理であることを特徴とする請求項 4 または 5 記載の被観察体の姿勢検出方法。

【請求項 7】 被観察体からの位相情報を検出するとともに、該被観察体の基準に対する相対的傾きを検出する被観察体の姿勢検出装置において、

前記被観察体からの位相情報を担持した縞画像データを取得する縞画像データ取得手段と、

該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施すフーリエ変換演算手段と、

該フーリエ変換がなされた縞画像データに基づき前記被観察体の傾きを含んだ位相情報を求める被観察体位相情報演算手段と、

前記被観察体の位相情報に基づいて前記被観察体の傾きを検出する被観察体傾き検出手段とを備えたことを特徴とする被観察体の姿勢検出装置。

【請求項 8】 前記被観察体またはこの被観察体の傾きの基準を与える参照体がアクチュエータにより可動される移動物体であることを特徴とする請求項 1、2、4、5、6 のうちいずれか 1 項記載の被観察体の姿勢検出方法または請求項 3、7 のうちいずれか 1 項記載の被観察体の姿勢検出装置。

【請求項 9】 被観察体の移動前後での傾きの変化を検出する被観察体の姿勢検出方法において、

前記被観察体の移動前の位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施

して、該縞画像データ中の、前記被観察体の移動前の傾きに対応した縞のティルト周波数を求め、

このティルト周波数に基づいて前記被観察体の移動前の傾き情報を検出する第 1 ステップと、

前記被観察体の移動後の位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施して、該縞画像データ中の、前記被観察体の移動後の傾きに対応した縞のティルト周波数を求め、

このティルト周波数に基づいて前記被観察体の移動後の傾き情報を検出する第 2 ステップと、

前記 2 つのステップにより検出された、前記被観察体の移動前後の傾き情報の差を求め、該求められた差に基づき前記被観察体の移動前後での傾きの変化を検出する第 3 ステップとからなることを特徴とする被観察体の姿勢検出方法。

【請求項 1 0】 被観察体の移動前後での傾きの変化を検出する被観察体の姿勢検出方法において、

前記被観察体の移動前の位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施して、該縞画像データ中の、前記被観察体の移動前の傾きに対応した縞のティルト周波数を求める第 1 ステップと、

前記被観察体の移動後の位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施して、該縞画像データ中の、前記被観察体の移動後の傾きに対応した縞のティルト周波数を求める第 2 ステップと、

前記 2 つのステップにより検出された、前記被観察体の移動前の傾きおよび移動後の傾きの各々に対応した縞のティルト周波数の差を求め、該求められた差に基づき前記被観察体の移動前後での傾きの変化を検出する第 3 ステップとからなることを特徴とする被観察体の姿勢検出方法。

【請求項 1 1】 前記位相情報が干渉縞情報であることを特徴とする請求項 8 から 1 0 までのうちいずれか 1 項記載の被観察体の姿勢検出方法または被観察

体の姿勢検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、被観察体の傾きを検出する被観察体の姿勢検出方法およびこれを用いた装置に関し、特に、干渉計等の自動ステージや自動計測機器において、アクチュエータを用いて被観察体（または基準）をシフトさせる際に、その被観察体の姿勢（傾き）を自動検出する被観察体の姿勢検出方法およびこれを用いた装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】

従来より、移動する被観察体の姿勢（ピッチング、ローリング）を検出するための装置として図10に示す如きオートコリメータが知られている。このオートコリメータは、レーザ光束をPBS201および $\lambda/4$ 板202を介して被観察体203に照射し、この被観察体203からの反射光束を $\lambda/4$ 板202、PBS201およびレンズ204を介してアナログ・ポジション・センサであるPSD (Position Sensitive Device) 205に照射し、このPSD205の中心軸から光束照射位置までの距離dに基づいて被観察体203の姿勢（傾き α ）を求めるものである。なお、この場合の傾き α は $d = f \cdot \tan 2\alpha$ （ただしfはレンズ204の焦点距離）なる式を用いて求められる。

【0003】

しかしながら、このようなオートコリメータの検出精度は上式からわかるようにレンズ204の焦点距離fに比例するため、検出精度を上げようとするとも焦点距離fが長くなり、装置が大型化する。

【0004】

そこで、装置の大型化を阻止しつつ高精度に検出することを目的として、例えば図11に示す如く、被観察体210に2本の干渉変位計211、212を平行に設置し、各々の干渉変位計211、212から、基準テーブル213に対して垂直に配置された直定規214までの距離 d_1 、 d_2 の差を求め、この差に基づ

き被観察体 2 1 0 の姿勢（ローリング角）を算出する手法が知られている。

具体的には、ローリング角 $\alpha = \tan^{-1} ((d_1 - d_2) / D)$ で表される。
ただし D は 2 つの干渉変位計 2 1 1、2 1 2 の距離である。

【0 0 0 5】

しかしながら、このような手法では、干渉変位計 2 1 1、2 1 2 を被検体に直接取り付けの必要があり、いわゆる非接触タイプとはなっていないため種々の問題が発生するとともに、装置構成が複雑になり過ぎるという問題があった。特に、2 次元姿勢検出においては干渉変位計が少なくとも 3 個必要となり相互のアライメント調整も煩雑である。

さらに、上述した距離 D を精密に検出する必要があり、システムの調整は極めて難しい。

【0 0 0 6】

本発明は上記問題を解決するためになされたものであり、被観察体の姿勢、特に 2 次元的な姿勢を高精度、高速、非接触かつ簡易なシステム構成で得ることのできる被観察体の姿勢検出方法およびこれを用いた装置に関するものである。

【0 0 0 7】

【課題を解決するための手段】

本発明の被観察体の姿勢検出方法は、被観察体の基準に対する相対的傾きを検出する被観察体の姿勢検出方法において、

前記被観察体の位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施して、該縞画像データ中の、前記被観察体の傾きに対応した縞のティルト周波数を求め、

このティルト周波数に基づいて前記被観察体の傾きを検出することを特徴とするものである。

【0 0 0 8】

また、前記ティルト周波数を求める際には、前記フーリエ変換により得られた周波数座標系上のピークのうちの所定のピーク的位置座標を求め、この位置座標に基づいてティルト周波数を算出する演算を行うことを特徴とするものである。

【 0 0 0 9 】

さらに、本発明の被観察体の姿勢検出装置は、被観察体からの位相情報を検出するとともに、該被観察体の基準に対する相対的傾きを検出する被観察体の姿勢検出装置において、

前記被観察体からの位相情報を担持した縞画像データを取得する縞画像データ取得手段と、

該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施すフーリエ変換演算手段と、

該フーリエ変換がなされた縞画像データ中の、前記被観察体の傾きに対応した縞のティルト周波数を求めるティルト周波数演算手段と、

このティルト周波数に基づいて前記被観察体の傾きを検出する被観察体傾き検出手段とを備えたことを特徴とするものである。

【 0 0 1 0 】

また、本発明の被観察体の姿勢検出方法は、被観察体の基準に対する相対的傾きを検出する被観察体の姿勢検出方法において、

前記被観察体からの位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、前記縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施して、前記被観察体の傾きを含んだ位相情報を求め、

得られた該被観察体の位相情報に所定の演算処理を施すことにより前記被観察体の傾きを検出することを特徴とするものである。

【 0 0 1 1 】

さらに、前記被観察体の位相情報を求める際には、前記フーリエ変換により得られた周波数座標系上のスペクトル分布のうちの、前記被観察体の傾きに対応した縞の所定のスペクトル分布を求め、この所定のスペクトル分布に基づいて位相情報を算出する演算を行うことを特徴とするものである。

【 0 0 1 2 】

また、前記所定の演算処理が、前記被観察体の位相情報にフィッティングする最小二乗平面を求める演算処理であることが望ましい。

【 0 0 1 3 】

さらに、本発明の被観察体の姿勢検出装置は、被観察体からの位相情報を検出するとともに、該被観察体の基準に対する相対的傾きを検出する被観察体の姿勢検出装置において、

前記被観察体からの位相情報を担持した縞画像データを取得する縞画像データ取得手段と、

該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施すフーリエ変換演算手段と、

該フーリエ変換がなされた縞画像データに基づき前記被観察体の傾きを含んだ位相情報を求める被観察体位相情報演算手段と、

前記被観察体の位相情報に基づいて前記被観察体の傾きを検出する被観察体傾き検出手段とを備えたことを特徴とするものである。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の被観察体の姿勢検出方法または被観察体の姿勢検出装置は、前記被観察体またはこの被観察体の傾きの基準を与える参照体がアクチュエータにより可動される移動物体である場合において特に有効である。

【 0 0 1 5 】

さらに、本発明の被観察体の姿勢検出方法は、被観察体の移動前後での傾きの変化を検出する被観察体の姿勢検出方法において、

前記被観察体の移動前の位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施して、該縞画像データ中の、前記被観察体の移動前の傾きに対応した縞のティルト周波数を求め、

このティルト周波数に基づいて前記被観察体の移動前の傾き情報を検出する第1ステップと、

前記被観察体の移動後の位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施して、該縞画像データ中の、前記被観察体の移動後の傾きに対応した縞のティルト周波数を求め、

このティルト周波数に基づいて前記被観察体の移動後の傾き情報を検出する第

2ステップと、

前記2つのステップにより検出された、前記被観察体の移動前後の傾き情報の差を求め、該求められた差に基づき前記被観察体の移動前後での傾きの変化を検出する第3ステップとからなることを特徴とするものである。

【0016】

また、本発明の被観察体の姿勢検出方法は、被観察体の移動前後での傾きの変化を検出する被観察体の姿勢検出方法において、

前記被観察体の移動前の位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施して、該縞画像データ中の、前記被観察体の移動前の傾きに対応した縞のティルト周波数を求める第1ステップと、

前記被観察体の移動後の位相情報を担持した縞画像データを取得し、

次に、該縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を用いた演算処理を施して、該縞画像データ中の、前記被観察体の移動後の傾きに対応した縞のティルト周波数を求める第2ステップと、

前記2つのステップにより検出された、前記被観察体の移動前の傾きおよび移動後の傾きの各々に対応した縞のティルト周波数の差を求め、該求められた差に基づき前記被観察体の移動前後での傾きの変化を検出する第3ステップとからなることを特徴とするものである。

【0017】

また、本発明の被観察体の姿勢検出方法または被観察体の姿勢検出装置では、前記位相情報を干渉縞情報とすることが可能である。

【0018】

本発明において、被観察体の基準に対する相対的傾きとは、傾きを求める際の基準（例えば、水平面、干渉計における参照面等）と被観察体の姿勢を判断する基準となる面（姿勢基準面）との相対角度をいう。被観察体の姿勢基準面としては、例えば、光波干渉計において形状測定する面（表面）や、被観察体の、載置台と接触する面等、適宜設定することができる。

【0019】

なお、本発明の背景技術として、例えば下記文献における内容が知られている。

M. Takeda, H. Ina and S. Kobayashi: Fourier transforms method of fringe-pattern analysis for computer-based topography and interferometry, J. Opt. Soc. Am. 72, (1982) p.156.

【 0 0 2 0 】

この文献に記載された内容は、縞画像にキャリア縞を重畳させ、これにフーリエ変換を施すと、キャリア縞に対応するピークを含む複数のフーリエスペクトルのピークを得ることができるというもので、本発明の如く、フーリエスペクトルの各ピークまたはスペクトル分布が意味するところに着目し、分離された所定のピークまたはスペクトル分布に基づいて被観察体の姿勢を検出するものとは発想および目的が基本的に相違する。

【 0 0 2 1 】

すなわち、上記文献に記載されたフーリエ変換縞解析法では、被観察体の表面形状等固有の位相情報を解析するために、人為的に被観察体と基準との間に相対的傾きを与え、これにより縞画像にキャリア縞を重畳させるものである。この人為的に重畳されたキャリア縞の情報は、フーリエ変換を施すことにより得られる周波数空間上において、キャリア縞に対応する周波数（キャリア周波数）として、被観察体固有の位相情報と分離される。

【 0 0 2 2 】

これに対し、本発明では、人為的にキャリア縞を重畳させるのではなく、予め傾いている被観察体の、その傾きを被観察体の固有の位相情報として捉えるものである。この傾きを含んだ位相情報にフーリエ変換を施すことにより、周波数空間上において被観察体の傾きに対応した周波数は、人為的に重畳させた上記キャリア周波数と同様に分離させることが可能となる。

【 0 0 2 3 】

本明細書では、被観察体の傾きに対応した周波数空間上における周波数を、人為的に重畳させたキャリア周波数とは異なるものであることを明確にするために、ティルト周波数と称する。

【 0 0 2 4 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態に係る被観察体の姿勢検出方法について図面を用いて説明する。

【 0 0 2 5 】

この方法は、被観察体の傾きを検出する際に、被観察体からの位相情報を担持した縞画像データを取得し、次に、前記各々の縞画像データの全体または一部にフーリエ変換を施して、該縞画像データ中の、被観察体の傾きに対応した縞成分のティルト周波数または該縞画像データ中の被観察体の位相情報を求め、前者においては、求めたティルト周波数に基づき、後者においては、求めた被観察体の位相情報に基づき、前記被観察体の傾きを検出するものである。

【 0 0 2 6 】

以下、本発明の実施形態に係る被観察体の姿勢検出方法を、前者については実施例 1 により、後者については実施例 2 により各々個別具体的に説明する。

なお、以下の実施例においては、縞画像として干渉縞画像を例にあげ、被観察体（または参照面）が移動により被観察体と参照面の相対姿勢が傾いた場合（傾きに変化が生じた場合）について説明する。

【 0 0 2 7 】

また、以下の実施例 1、2 においては、被観察体の姿勢基準面を被観察体の略平滑な測定対象面（表面）に設定し、被観察体の傾きを求める際の基準を干渉計の参照面に設定している。すなわち、本実施形態において検出される被観察体の傾きとは、参照面と被観察体の表面との移動後の相対角度（正確には、光軸に対する参照面の角度と、光軸に対する被観察体表面の角度との差）を指す。

【 0 0 2 8 】

なお、被観察体の表面と裏面（被観察体の載置台側の面）とが、共に平滑で互いに平行とみなせる場合には、検出される被観察体の傾きは、参照面と載置台との相対角度と略等しいとみなすことができるから、この場合には載置台の相対的な傾きを求めることができる。

【 0 0 2 9 】

＜実施例 1＞

実施例 1 に係る被観察体の姿勢検出方法を図 1 のフローチャートを用いて説明する。

【0030】

まず、被観察体の位相情報（ここでは形状情報；以下同じ）を担持してなる干渉縞画像（図 2 参照）を CCD 撮像カメラにより得る（S1）。次に、得られた干渉縞画像データに対してフーリエ変換を施し（S2）、フィルタリングによって被観察体の傾きに対応した縞成分のティルト周波数（ f_x , f_y ）を抽出し（S3）、このティルト周波数に基づき被観察体の傾きを求める（S4）。

【0031】

被観察体が傾いていると、従来のフーリエ変換縞解析法において人為的にキャリア周波数（被観察体表面と参照面との相対的な傾斜）を導入した場合と同様の状態が生じ、一枚の縞画像のみで被観察体表面の位相と傾きを求めることができる。被観察体の傾きに対応した縞成分のティルト周波数（ f_x , f_y ）を含んだ干渉縞強度は次の式（1）で表される。

【0032】

【数 1】

$$i(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos(2\pi f_x x + 2\pi f_y y + \phi(x, y)) \quad \cdots \cdots (1)$$

ただし、 $a(x, y)$ は干渉縞のバックグラウンド

$b(x, y)$ は縞のビジビリティ

$\phi(x, y)$ は被観察体の位相

f_x, f_y はティルト周波数

【0033】

上式（1）は下式（2）のように変形できる。

【0034】

【数 2】

$$i(x, y) = a(x, y) + c(x, y) \exp[i(2\pi f_x x + 2\pi f_y y)] + c^*(x, y) \exp[-i(2\pi f_x x + 2\pi f_y y)] \quad \cdots \cdots (2)$$

【0035】

【数3】

$$c(x,y) = \frac{b(x,y)\exp[i(\phi(x,y))]}{2} \quad \dots\dots (3)$$

【0036】

上式(2)をフーリエ変換すると、下式(4)を得ることができる。

【0037】

【数4】

$$I(\eta,\xi) = A(\eta,\xi) + C(\eta - f_x, \xi - f_y) + C^*(\eta + f_x, \xi + f_y) \quad \dots\dots (4)$$

ただし、

$A(\eta,\xi)$: $a(x,y)$ のフーリエ変換

$C(\eta - f_x, \xi - f_y)$: $c(x,y)\exp[i(2\pi f_x + 2\pi f_y)]$ のフーリエ変換

$C^*(\eta - f_x, \xi - f_y)$: $c^*(x,y)\exp[-i(2\pi f_x + 2\pi f_y)]$ のフーリエ変換

【0038】

ところで、上述したように (f_x, f_y) はティルト周波数であり下式(5)で表される。

【0039】

【数5】

$$f_x = \frac{2 \cdot \tan \theta_x}{\lambda}, \quad f_y = \frac{2 \cdot \tan \theta_y}{\lambda} \quad \dots\dots (5)$$

【0040】

すなわち、ティルト周波数 (f_x, f_y) は、被観察体表面と参照面との光学的な相対角度(相対姿勢)を表すものでもある。したがって、ティルト周波数 (f_x, f_y) を求めれば、被観察体表面と参照面との光学的な相対角度(相対姿勢)を求めることができることになる。

【0041】

そこで、上記フーリエ変換の結果から、図3に示す如き、周波数座標系上におけるティルト周波数のスペクトルのピークの位置を求める。すなわち、上記 $C(n-f_x, \xi-f_y)$ のピーク位置を求めることによって (f_x, f_y) が得られ、上式(5)に基づき、測定面の x 、 y 方向の各傾き(姿勢)である q_x と q_y を求めることができる。

【0042】

このように、縞画像データにフーリエ変換を施して得られたティルト周波数 (f_x, f_y) に基づき被観察体の傾きを容易に求めることができる。

【0043】

<実施例2>

次に、実施例2に係る被観察体の姿勢検出方法を図4のフローチャートを用いて説明する。

【0044】

まず、被観察体の形状情報を担持してなる干渉縞画像(図2参照)をCCD撮像カメラにより得る(S11)。次に、得られた干渉縞画像データに対してフーリエ変換を施し(S12)、フィルタリングによってティルト周波数のスペクトル分布(サイドローブ)である $C(n-f_x, \xi-f_y)$ を抽出する(S13)。次に、この分布 $C(n-f_x, \xi-f_y)$ に逆フーリエ変換を施して $c(x, y)$ を得、ラップされた位相を得る(S14)。この後、アンラップ処理を施すことにより被観察体の形状情報に基づき被観察体の位相 $p(x, y)$ を求める(S15)。次に、最小二乗法を用いて上記位相 $p(x, y)$ の最小二乗平面を求める(S16)。最後に、最小二乗平面の微係数に基づき被観察体の傾斜を求める(S17)。

【0045】

ところで、従来のフーリエ縞解析法、例えば前述したM.TAKEDA等の発明においては、フィルタリングによって、周波数座標系上におけるキャリア周波数のスペクトル分布(サイドローブ)である $C(n-f_x, \xi-f_y)$ を抽出した後、そのピークをその位置 (f_x, f_y) から座標原点に移動することによりキャリア周波数を除去し、この後逆フーリエ変換を施すことにより被観察体の位相(形状)を求めるようにしている。

【 0 0 4 6 】

これに対し、本実施例においては、被観察体の傾斜もその形状の一部と考え、前述した式（４）におけるティルト周波数のスペクトル分布（サイドローブ）である $C(n-f_x, \xi-f_y)$ のピークを、移動させることなく、すなわち、ティルト周波数を除去することなくこのスペクトル分布 $C(n-f_x, \xi-f_y)$ に対して逆フーリエ変換を施す。これにより、最終的に得られた上記被観察体の位相 $p(x,y)$ には傾き成分が含まれることになる。

【 0 0 4 7 】

すなわち、上記位相 $p(x,y)$ は下式（６）の如く表される。

【 0 0 4 8 】

【数 6】

$$\begin{aligned} p(x,y) &= 2\pi f_x x + 2\pi f_y y + \phi(x,y) \\ &= ax + by + \phi(x,y) \quad \dots\dots (6) \\ &= \tan(\theta_x)x + \tan(\theta_y)y + \phi(x,y) \end{aligned}$$

ただし、

a は最小二乗平面の x 方向の微係数

b は最小二乗平面の y 方向の微係数

【 0 0 4 9 】

したがって、本実施例によれば、最小二乗法を用いて、ティルト周波数を除去せずに求めた被観察体の形状の最小二乗平面（形状を最小二乗法でフィッティングし得られた平面）を求め、この最小二乗平面の x 、 y 方向の微係数を求め、さらに上式（６）を用いて被観察体の傾斜 q_x と q_y を得るようにしており、これにより被観察体の傾きを容易に求めることができる。

【 0 0 5 0 】

なお、上記実施例 2 においては、被観察体の形状を表す平面を求める際には、上記最小二乗法に替えて他のフィッティング手法を採用することによっても、曲面をフィッティングした所望の平面を求めることができる。

【 0 0 5 1 】

なお、本発明の被観察体の姿勢検出方法においては、被観察体の移動前の時点

においても上記と同様の手法により被観察体の傾きを求めて、これを被観察体の基準姿勢としておき、このときの角度を、前述のようにして求めた移動後の被観察体の角度から差引くことにより、この被観察体の姿勢の変化を求めるようにしてもよい。

【 0 0 5 2 】

＜実施例 3＞

以下、被観察体の移動前後における各々 1 枚の縞画像から被観察体の移動前後での姿勢の変化を求める、実施例 3 に係る被観察体の姿勢検出方法を図 5 のフローチャートを用いて説明する。

【 0 0 5 3 】

まず、被観察体の移動前の位相情報を担持してなる干渉縞画像を CCD 撮像カメラにより得る (S 2 1)。次に、得られた移動前の干渉縞画像データに対してフーリエ変換を施し (S 2 2)、フィルタリングによって被観察体の移動前の傾きに対応した縞成分のティルト周波数 (f_x , f_y) を抽出し (S 2 3)、このティルト周波数に基づき被観察体の移動前の傾きを求める (S 2 4)。

【 0 0 5 4 】

次に、被観察体の移動後の位相情報を担持してなる干渉縞画像を CCD 撮像カメラにより得る (S 2 5)。得られた移動後の干渉縞画像データに対してフーリエ変換を施し (S 2 6)、フィルタリングによって被観察体の移動後の傾きに対応した縞成分のティルト周波数 (f_x' , f_y') を抽出し (S 2 7)、このティルト周波数に基づき被観察体の移動後の傾きを求める (S 2 8)。そして、求めた被観察体の移動前の傾きと移動後の傾きとの差から、被観察体の移動前後での傾きの変化を求める (S 2 9)。

【 0 0 5 5 】

なお、この実施例では、移動前と後とで各々傾きまで求め、それらの差から被観察体の移動前後での傾きの変化を求めているが、移動前の縞画像についてのティルト周波数と移動後の縞画像についてのティルト周波数との差から、被観察体の移動前後での傾きの変化を求めるようにしてもよい。

【 0 0 5 6 】

また、上記実施例 2 の手法を移動前の縞画像と移動後の縞画像について適用し、求めた移動前の被観察体の傾きと移動後の被観察体の傾きとの差から、被観察体の移動前後での傾きの変化を求めるようにしてもよい。

【 0 0 5 7 】

その場合、移動前の被観察体の形状の最小二乗平面と、移動後の被観察体の形状の最小二乗平面とを求め、これら移動前後の 2 つの最小二乗平面の傾きの差から、被観察体の移動前後での傾きの変化を求めるようにしてもよいし、あるいは、移動前の被観察体の形状と、移動後の被観察体の形状とを求め、これら移動前後の 2 つの形状の差に対応する最小二乗平面の x、y 方向の微係数を求め、これにより、被観察体の移動前後での傾きの変化を求めるようにしてもよい。

【 0 0 5 8 】

また、本発明の被観察体の姿勢検出方法においては、フーリエ変換を施す際に縞画像の全体を使う必要がなく、一部の縞画像であっても十分に良好な結果を得ることができる。さらに、被観察体は高反射率の表面を有している必要はなく、粗面であっても良好な結果を得ることができる。

【 0 0 5 9 】

＜被観察体の姿勢検出装置＞

次に、上述した実施形態方法を実施するための装置について、図 6、7、8 を用いて説明する。なお、以下においては干渉計装置に適用した場合を例にあげて説明する。

【 0 0 6 0 】

図 8 に示すように、マイケルソン型干渉計 1 において、被観察体表面 2 と参照（基準）面 3 からの両反射光束によって形成される干渉縞は、撮像カメラ 4 の C D 5 の撮像面において形成され、画像入力基板 6 を介して、C P U および画像処理用のメモリを搭載したコンピュータ 7 に入力され、図 6、7 に示すような処理手段により入力された干渉縞画像データに対して種々の演算処理が施され、その処理結果はモニタ画面 7 A 上に表示される。なお、撮像カメラ 4 から出力される干渉縞画像データは C P U の処理により一旦メモリ内に格納されるようになっている。

【 0 0 6 1 】

一方、図 8 に示すように本装置においては、コンピュータ 7 の指示に基づき、D/A 変換基板 8 および piezo 駆動部 9 を介して、被観察体の表面 2 と参照面 3 の相対的なシフト量変位、すなわち物体の移動が P Z T (piezo 素子) アクチュエータ 10 によりなされるようになっている。

【 0 0 6 2 】

ところで、本装置においては、移動物体の駆動が P Z T (piezo 素子) アクチュエータ 10 によりなされるように構成されているため、移動物体の駆動操作中において、被観察体の表面 2 と参照面 3 の相対的な傾きに変化が生じてしまうことがある。本装置では、このような相対的な傾きの変化を、本装置のみによって正確に検出可能とするものである。

【 0 0 6 3 】

なお、上述したような姿勢制御を行わない場合において、上記 P Z T (piezo 素子) アクチュエータ 10 を用いて参照面 3 (または被観察体の表面 2) を光軸方向前後に振動させフリンジスキャンを行うようにすることも可能である。この場合には上記 2 つの面 2、3 の相対的な傾きを直してから行う。

【 0 0 6 4 】

以下、図 9 を用いて、上記 P Z T (piezo 素子) アクチュエータ 10 の 2 つの態様を説明する。

すなわち、第 1 の態様は、図 9 (A) に示すように、参照面 (参照ミラー) 3 の裏面を支持する 3 つの piezo 素子 1 2 1、1 2 2、1 2 3 を備え、支点部材としても機能する piezo 素子 1 2 1 と各 piezo 素子 1 2 2、1 2 3 とを結ぶ参照面 3 を有する参照ミラー上の、2 本の直線 L_x 、 L_y が互いに直交するように構成されたものである。3 本の piezo 素子 1 2 1、1 2 2、1 2 3 が同量だけ伸縮することにより参照ミラーの参照面 3 が Z 軸に沿って平行移動し、さらに piezo 素子 1 2 2 のみの伸縮により参照ミラーの参照面 3 が y 軸を中心として回転するように x 軸方向に傾き、piezo 素子 1 2 3 のみの伸縮により参照ミラーの参照面 3 が x 軸を中心として回転するように y 軸方向に傾くことになる。なお、ティルト周波数と上記傾きの関係は下式 (7) により表される。

【 0 0 6 5 】

【 数 7 】

$$f_x = \frac{2 \cdot \tan \theta_x}{\lambda} = \frac{2 \cdot (L_{PZT-X} - L_{PZT-O})}{L_x \cdot \lambda}, \quad f_y = \frac{2 \cdot \tan \theta_y}{\lambda} = \frac{2 \cdot (L_{PZT-Y} - L_{PZT-O})}{L_y \cdot \lambda} \quad \dots\dots (7)$$

ただし、

 θ_x 、 θ_y ：被観察体表面の平均平面の X,Y 方向の傾き L_{PZT-O} 、 L_{PZT-X} 、 L_{PZT-Y} ：各 P Z T アクチュエータの変位量

【 0 0 6 6 】

一方、第 2 の態様は、図 9 (B) に示すように、参照面 (参照ミラー) 3 の裏面中央部を円柱状のピエゾチューブ 1 2 4 によって支持するように構成されたものである。このピエゾチューブ 1 2 4 の偏奇しない伸縮により参照ミラーの参照面 3 の平行移動が行なわれ、一方、偏奇した伸縮により参照ミラーの参照面 3 が x 軸方向および y 軸方向に自在に傾けられることになる。この第 2 の態様においても、ティルト周波数と上記傾きの関係は上式 (7) に準じた式により表される。

【 0 0 6 7 】

しかしながら、上記いずれの態様においても、3 本のピエゾ素子 1 2 1、1 2 2、1 2 3 あるいはピエゾチューブ 1 2 4 の伸縮精度によって被観察体の表面 2 と参照面 3 の相対的な傾きに誤差が生じてしまうことがあり、本装置はこのような場合における傾きを良好かつ容易に検出し得るものである。

【 0 0 6 8 】

以下、この傾き検出機能の主要部を構成するコンピュータの内部構成について説明する。

【 0 0 6 9 】

コンピュータ 7 は、図 6 に示す如く、第 1 の態様として、ソフト的に、FFT 演算手段 1 1、ティルト周波数演算手段 1 2 および被観察体傾き検出手段 1 3 を備えている。

【 0 0 7 0 】

この FFT 演算手段 1 1 は、前述したように、得られた干渉縞画像データの全

体または一部に対してフーリエ変換を施す、図 1 におけるステップ 2 (S 2) の処理を行うものであり、ティルト周波数演算手段 1 2 は、前記 F F T 演算手段 1 1 において演算されたフーリエスペクトルに基づいてティルト周波数を求め、ステップ 3 (S 3) に相当する処理を行うものである。さらに、被観察体傾き検出手段 1 3 は、上記ティルト周波数演算手段 1 2 において演算されたティルト周波数に基づいて前記被観察体の傾きを検出するものである (S 4 に相当する)。

【 0 0 7 1 】

また、コンピュータ 7 は、図 7 に示す如く、第 2 の態様として、ソフト的に、F F T 演算手段 2 1、被観察体形状情報演算手段 2 2 および被観察体傾き検出手段 2 3 を備えている。

【 0 0 7 2 】

この F F T 演算手段 2 1 は、前述したように、得られた干渉縞画像データの全体または一部に対してフーリエ変換を施す、図 4 におけるステップ 1 2 (S 1 2) の処理を行うものであり、被観察体形状情報演算手段 2 2 は、前記 F F T 演算手段 2 1 において演算されたフーリエスペクトルに基づいて前記被観察体の形状情報を演算するものであり、上記ステップ 1 3 ~ 1 5 (S 1 3 ~ 1 5) に相当する処理を行うものである。さらに、被観察体傾き検出手段 2 3 は、上記被観察体形状情報演算手段 2 2 において演算された被観察体の形状情報に基づいて、その形状の最小二乗平面 (形状を最小二乗法でフィッティングし得られた平面) を求め、前記被観察体の傾きを検出するものである (S 1 6、1 7 に相当する)。

【 0 0 7 3 】

これにより被観察体表面 2 と参照面 3 が相対的に移動して光学的相対角度 θ の傾きを有する状態 (図 8 では模式的に被観察体表面 2 a の傾き状態により表す) となった場合にも、その傾きを容易に検出することができ、被観察体の姿勢 (あるいは参照面 3 の姿勢) を常に観察することができる。

【 0 0 7 4 】

なお、本発明の方法および装置としては上記実施形態のものに限られるものではなく、その他の種々の態様の変更が可能である。例えば、移動物体の駆動としては、上記 P Z T に限られるものではなく、参照面または被観察体表面を物理的

に移動させる他のアクチュエータを用いた場合にも適用が可能である。

【0075】

また、上記実施形態においては、3つのPZT素子を配設する態様としてこれら3つの部材が丁度直角三角形の各頂点に位置するようにしているが、これら3つの部材は参照ミラー上で任意の三角形の各頂点を形成するような配置とすることも勿論可能である。

【0076】

また、上記実施形態のものにおいては、干渉縞画像データをマイケルソン型干渉計を用いて撮像しているが、フィゾー型等のその他の干渉計を用いて得られた干渉縞画像データに対しても同様に適用できることは勿論である。

【0077】

また、本発明における被観察体の傾きに対応した縞とは、物体に傾きを与えた場合に発生する縞のほか、物体自体がいわゆる楔形状とされていてこれに基づき発生する縞をも含むものとする。

さらに、本発明は、干渉縞のみならずモアレ縞やスペckル縞、その他の種々の縞画像に対しても同様に適用可能である。

【0078】

【発明の効果】

本発明の被観察体の姿勢検出方法およびこれを用いた装置によれば、被観察体の波面を求めるための1枚の縞画像データに対して、フーリエ変換による演算処理を施して、ティルト周波数または被観察体の位相情報を求め、これに基づいて被観察体の傾きを検出するようにしており、また、これらの処理はコンピュータによるソフト的な処理によって行なわれる。したがって、新たに、姿勢検出装置を設ける必要がなく、また、その検出に要する時間を大幅に短縮することができ、検出結果を高精度のものとすることができる。これにより、特に2次元姿勢を高精度で高速かつ簡易なシステム構成で得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施例1に係る被観察体の姿勢検出方法を説明するためのフローチャ

ート

【図 2】

本実施形態方法において用いられる縞画像データを示す概略図

【図 3】

周波数座標系上に出現するフーリエスペクトルを示す概略図

【図 4】

本発明の実施例 2 に係る被観察体の姿勢検出方法を説明するためのフローチャ

ート

【図 5】

本発明の実施例 3 に係る被観察体の姿勢検出方法を説明するためのフローチャ

ート

【図 6】

本発明の実施例 1 に係る方法を実施する装置の一部を示すブロック図

【図 7】

本発明の実施例 2 に係る方法を実施する装置の一部を示すブロック図

【図 8】

本発明の実施例 1 ～ 3 に係る方法を実施する装置の概略構成を示すブロック図

【図 9】

図 8 の一部を具体的に示すブロック図

【図 1 0】

従来技術を説明するための概略図

【図 1 1】

従来技術を説明するための概略図

【符号の説明】

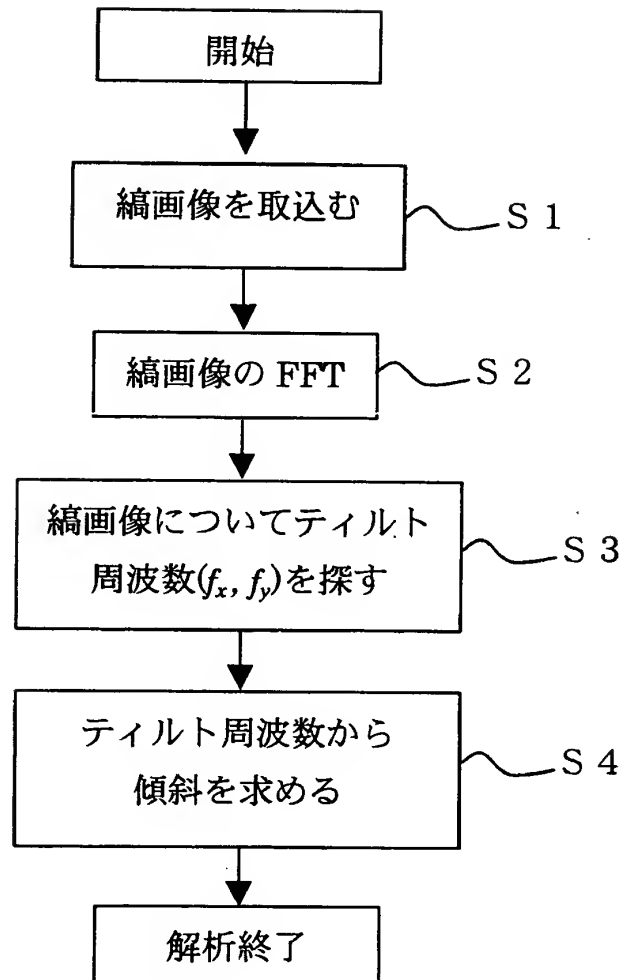
- 1 マイケルソン型干渉計
- 2 被観察体表面
- 3 参照面
- 4 CCDカメラ
- 5 CCD

- 7 コンピュータ
- 7 A モニタ画面
- 9 ピエゾ駆動部
- 1 0 P Z T アクチュエータ
- 1 1 F F T 演算手段
- 1 2 ティルト周波数演算手段
- 1 3 被観察体傾き検出手段
- 2 1 F F T 演算手段
- 2 2 被観察体形状情報演算手段
- 2 3 被観察体傾き検出手段

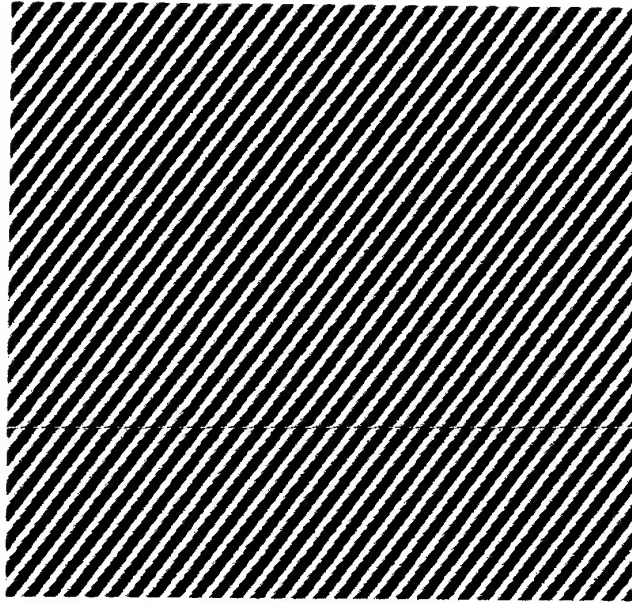
【書類名】

図面

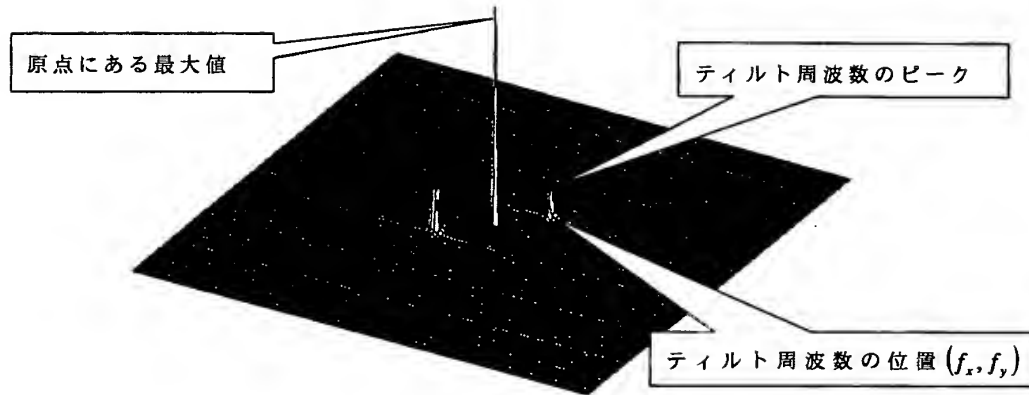
【図 1】



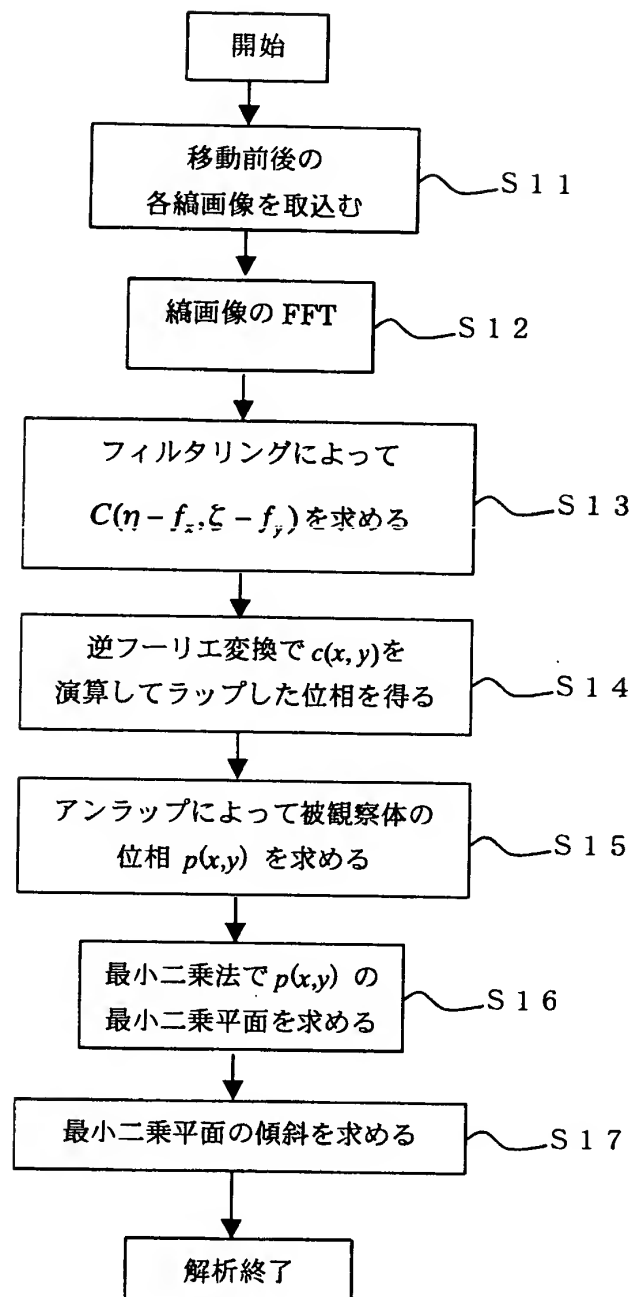
【図 2】



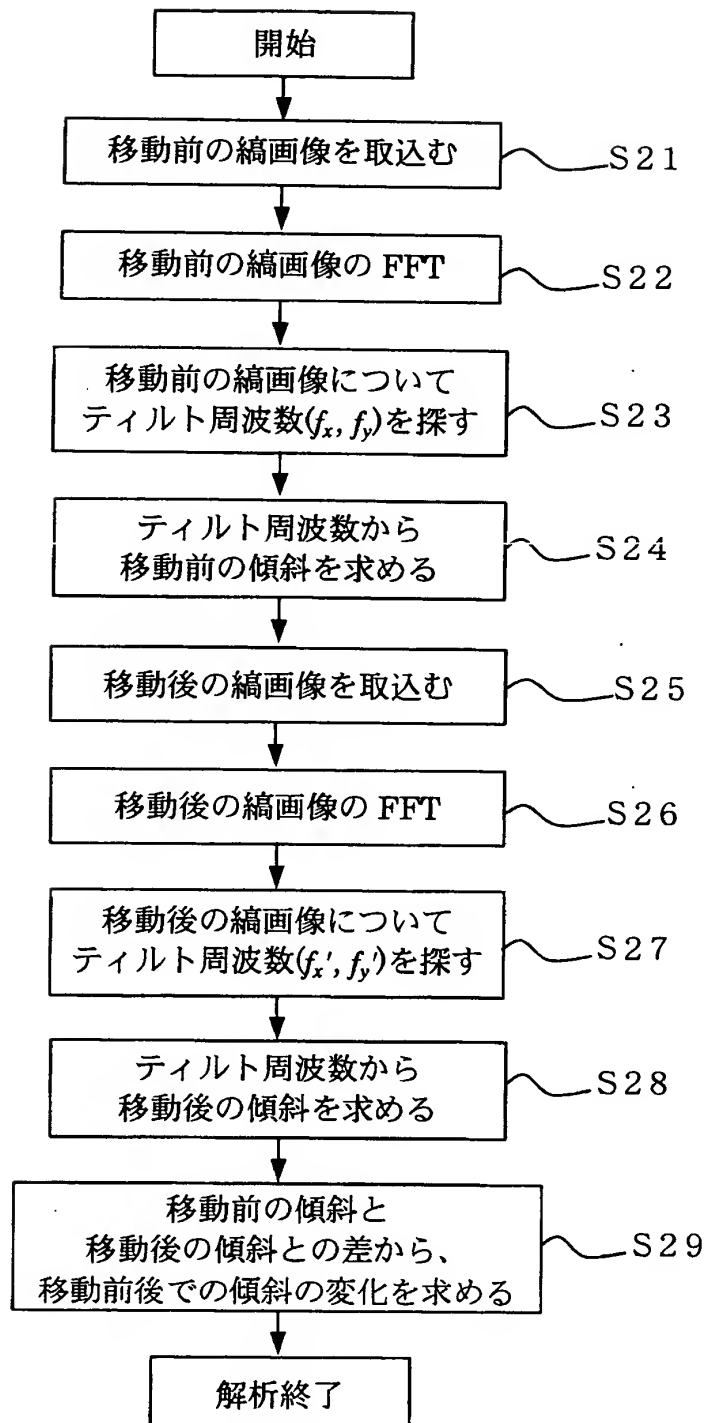
【図 3】



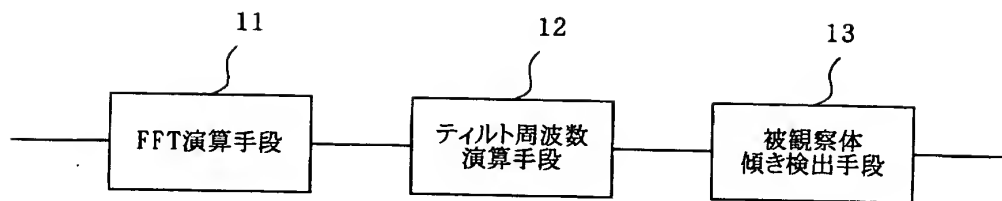
【図 4】



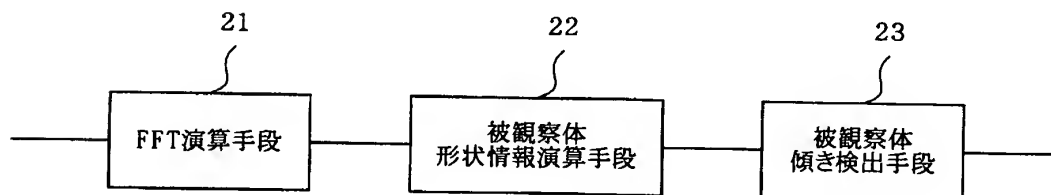
【図 5】



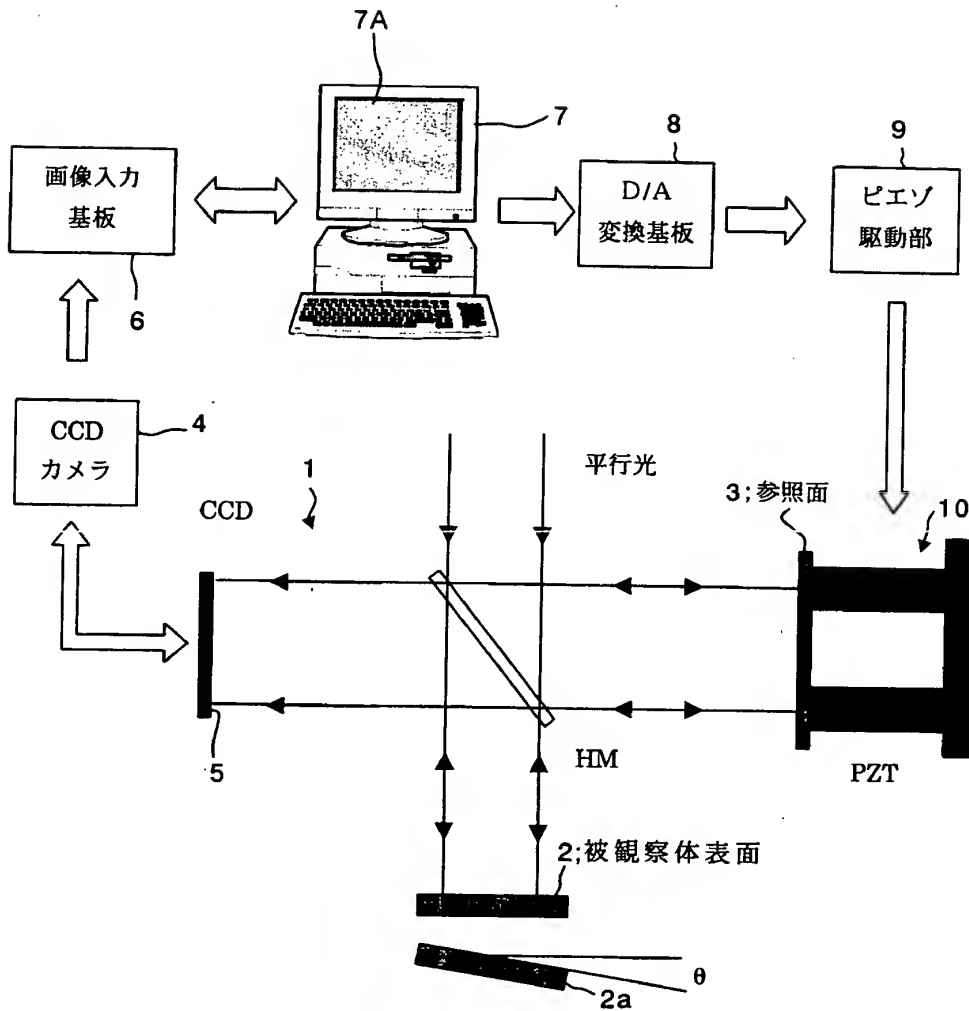
【図 6】



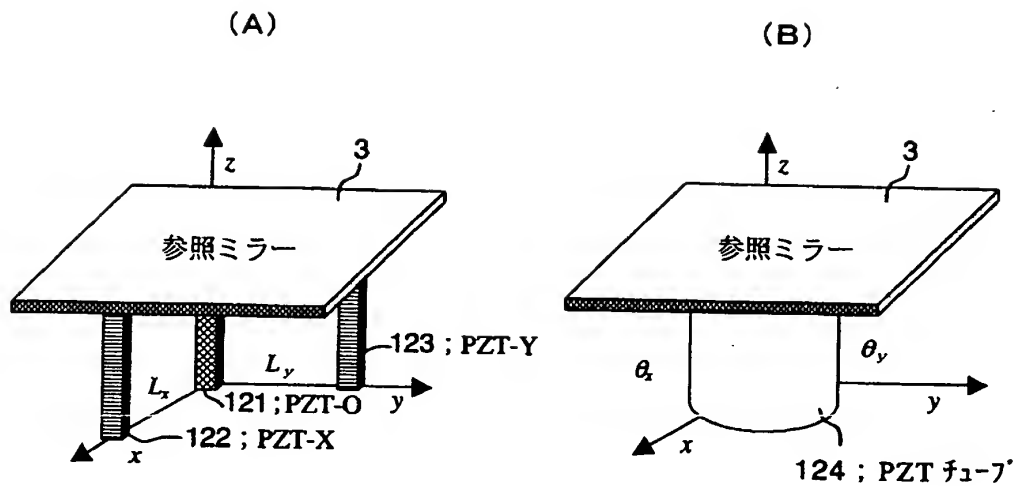
【図 7】



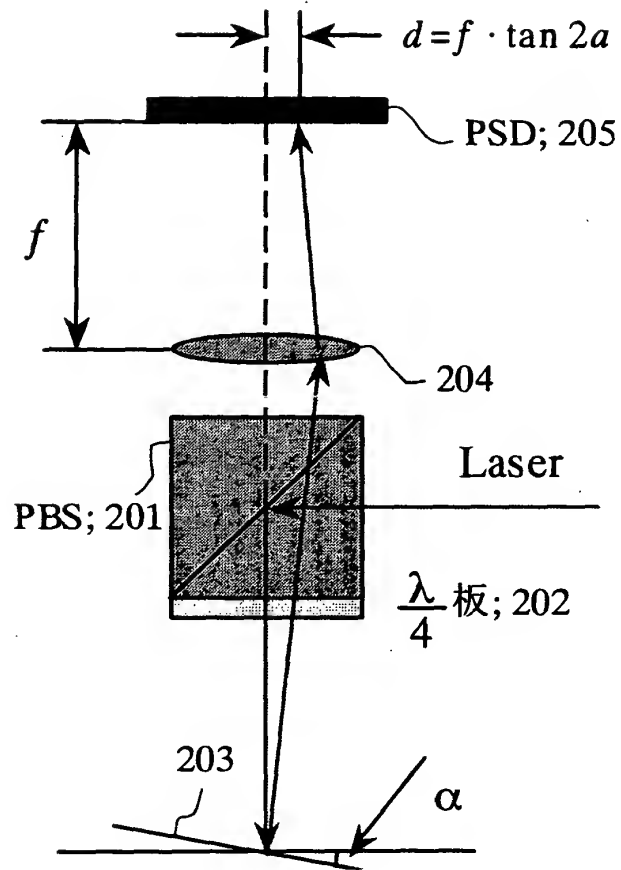
【図 8】



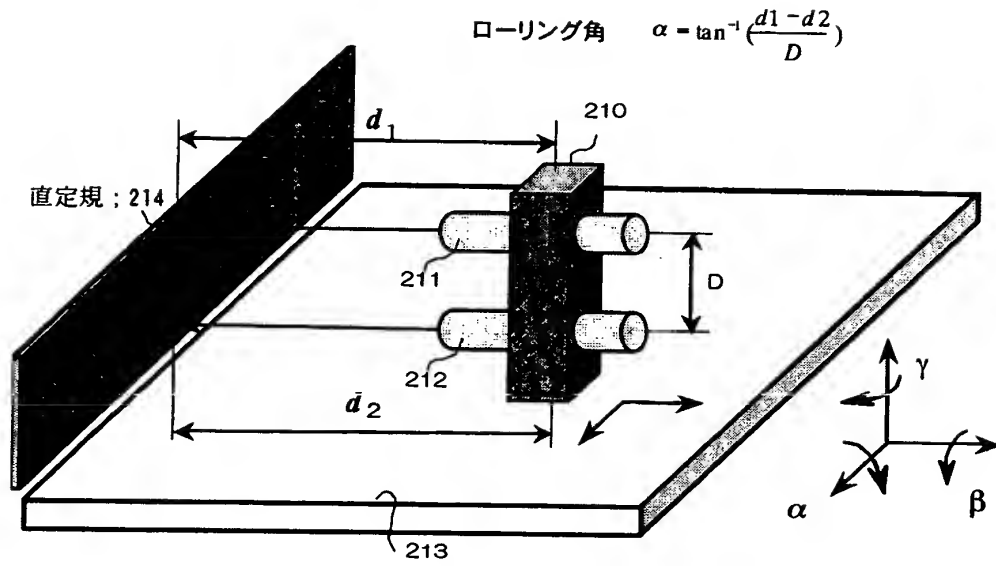
【図9】



【図 1 0】



【図 1 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【目的】被観察体の位相情報を求めるための1枚の縞画像データに、フーリエ変換演算を施し、ティルト周波数または被観察体の位相情報を求め、これに基づいて被観察体の傾きを検出することにより、新たに、姿勢検出装置を設けることなく、その検出に要する時間を大幅に短縮することができる。

【構成】被観察体の位相情報を担持してなる干渉縞画像をCCD撮像カメラにより得る（S1）。次に、得られた干渉縞画像データに対してフーリエ変換演算を施し（S2）、フィルタリングによってティルト周波数（ f_x , f_y ）を抽出し（S3）、このティルト周波数に基づき被観察体の傾きを求める（S4）。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-354545
受付番号	50101706433
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成13年11月26日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成13年11月20日
-------	-------------

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005430]

1. 変更年月日 2001年 5月 1日

[変更理由] 住所変更

住 所 埼玉県さいたま市植竹町1丁目324番地

氏 名 富士写真光機株式会社